

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 高低街谷中污染傳輸模擬與風洞試驗

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-032-004-

執行期間：92 年 08 月 01 日至 93 年 07 月 31 日

執行單位：淡江大學土木工程學系

計畫主持人：張正興

共同主持人：陳俊成

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 2 日

# 都市中高低街谷內空氣污染物傳輸模式建立

## 摘要

本研究針對不同高度之街谷，進行污染物傳輸與通風性之探討。實驗過程中發現：當街谷高、寬比為 2 時：在街谷背風面下方處會因街谷內部順時針渦漩而造成高污染物的累積；然而在街谷迎風面上方處因逆時針渦漩而產生較低污染物的累積。分別在上游放置不同高度之街谷，其結果發現：街谷前後不同高度，其流場與渦漩的位置會因街谷幾何形狀而改變，最後使得街谷內污染物傳輸與累積也隨之改變。在物理模式中主要以風洞進行空氣擴散試驗與數值模擬分析之間相互比較，街谷之兩排建築物中間主要以水平均勻性高之線性污染源來進行污染物的排放。數值模擬將利用 FLUENT 進行二維不同高度街谷之模擬分析，其模式主要以平均雷諾數那維爾-史拖克方程式並分別以標準（standard）、經修正（renormalization group）、可信任（realizable）紊流模式進行模擬分析。數值模擬的結果將與風洞（淡江大學）試驗的結果做分析比較，其結果發現兩者之間的趨勢是相當一致的。

關鍵詞：擴散，風洞試驗，高低街谷，數值模擬

## 一、前言

街谷污染物的傳輸由 Meroney (1996) 所發表的期刊[1]，主要對等高、不同寬度街谷進行風洞試驗的研究。當  $B/H=1$  ( $B$  為街道寬度、 $H$  為建築物高度)，風速變化從 0.5 至 5 m/sec 對於街谷中污染物的濃度變化不是相當顯著，但是相同的線性污染源排放之下，卻發現在背風處所量出濃度比  $B/H=2$ 、 $B/H=4$  高出兩倍。

Kastner klein(1999)[2] 在風洞分別進行二維、三維街谷的試驗。二維街谷中，在街谷上風處分別多放置一、二相同高度的模型，其結果應證 Meroney(1996)：前面障礙物越多的情況之下，使得街谷內的通風性叫不佳，容易形成穩定的渦漩，因此街谷中背風面、迎風面的濃度都會偏高的現象。

Leitl (1997)[3]延續 Meroney (1996) 進一步探討分別在迎風面、背風面上增加三角形的屋頂進行風洞研究，結果發現在上、下增加三角形屋頂時，平均濃度為最高；平均濃度最低為上游加上三角形屋頂。在利用 FLUENT 進行模擬二維街

谷時，便發現背風面的濃度與實驗室相差 58%；至於三維街谷數值模擬中：在背風面數值模擬的濃度與實驗數據相差 90%，其模擬結果是相當不好的。

Chan(2002)[4] 利用 fluent 計算流體力學將 Meroney (1996) [1]所發表文章數據與數值模擬分析相互比較。利用三種不同紊流模式 ( $\kappa-\epsilon$ ) 進行模擬，結果證明：當風速 1 m/sec 時，標準的 (standard)  $\kappa-\epsilon$  紊流模式的結果最佳，RNG (renormalization group)  $\kappa-\epsilon$  與可信任 (realization)  $\kappa-\epsilon$  紊流模式數據與實驗數據相距過大；當風速小於 0.5 m/sec 時，標準紊流與經修正紊流模擬結果是相似的，對於可信任紊流模式，則高於實驗量測值；當風速大於 2 m/sec 時，經修正紊流模式結果與風洞實驗的結果是吻合。

## 二、實驗設計

本研究係使用淡江大學大氣邊界層風洞實驗室來進行一系列的風洞模擬實驗。風洞之實驗段為一長 18.7m×寬 3.2 m×高 2.0m 之矩形空間。大氣邊界層風洞實驗室為一開放吸入式風洞

(open suction type)。

本實驗主要街谷的尺寸如 Fig.1 所示：長度為 75 公分、寬度為 8 公分、高度從左至右分別為 4、8、12、16 公分。



Fig.1 Street canyon physical geometry.

為了模擬線性污染源排放，線性污染源的設計顯得相當重要，經過 Meroney 實驗試驗其誤差不超過 10%，而且超越 Munchow ( 1991 ) [5]所發表期刊，是實驗設計值得參考的地方。

採樣器所採樣樣品，其濃度將不受到外界的干擾與氣相層析儀對樣品分析的準確性，除了實驗前均勻性試驗外；在單一等高街谷之試驗，在相同流量、風速為 3m/sec 時，分別進行兩次採樣分析，其結果如 Fig.2。前後兩次所得無因次化濃度誤差不超過 5%，更能確定本實驗的準確性與穩定性高。

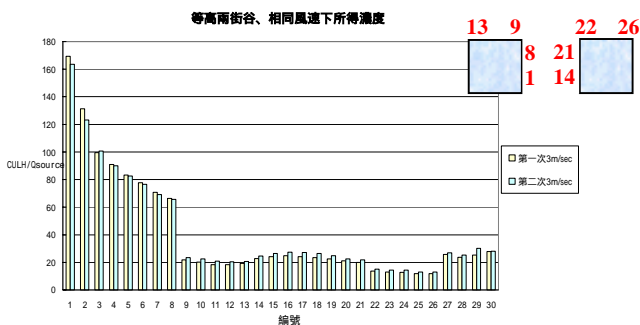


Fig.2 Two tests on pollutant concentrations in a street canyon with the same pollutant emission ( $Q_{source} = Q_{air} (135 \text{ l/h}) + Q_{propane} (4 \text{ l/h})$ ) and reference velocity(3m/sec). (H : canyon height = 8cm、L : canyon length = 75cm、C: concentrations )

線性污染源均勻性試驗如 Fig.3 所示：在同一水平無因次化濃度高低的變化較大，主要在污染源下方 5 公分處，但其誤差不超過 8%；離污染源越遠的距離，其無因次化濃度變化是相當小的，此結果與 Meroney ( 1996 ) [1]是相互吻合。

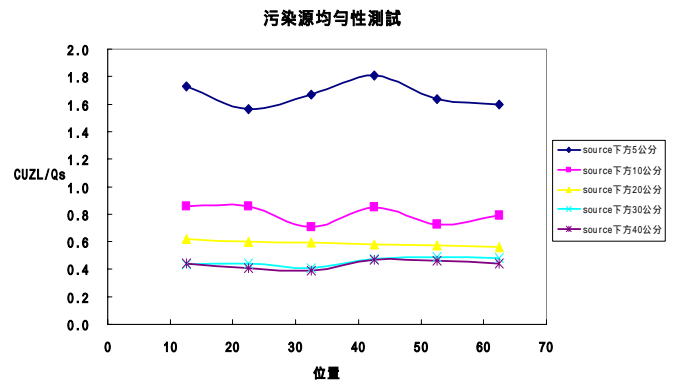


Fig.3 Horizontal downstream dispersion of the gas plume from line source. (C: concentration、Z: roughness length =0.6cm、U : reference velocity = 2m/sec、L : canyon length = 75cm、Qs: total pollutant emission  $Q_{source} = Q_{air} (200 \text{ l/h}) + Q_{propane} (4 \text{ l/h})$  )

使用一維熱膜探針 ( IFA300 ) 與風洞天車來量測逼近流在不同高度下，風速與紊流強度的變化。Chang(2001)[6]、(2003)[7]將逼近流經過迴歸分析後，可直接讀入 FLUENT 軟體中，使得逼近流特性與數值模擬之邊界條件是相互吻合的。

### 三、結果與討論

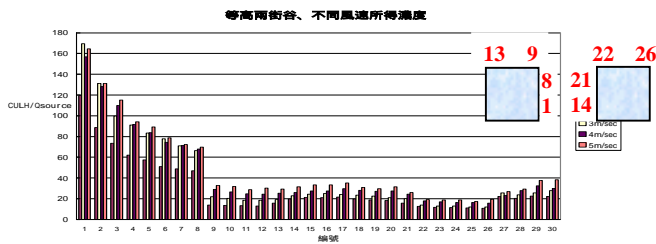
#### 1 等高街谷風洞試驗與數值模擬分析

##### (1)風洞試驗結果：

從 Fig.4 中可以發現：在街谷上風處建築物之背風面從底面至屋頂 ( 編號從 1 至 8 號 )，在街谷下風處建築物之迎風面從底面至屋頂 ( 編號從 14 至 21 號 )。背風面的無因次化濃度高於迎風面的濃度三到四倍，其無因次化濃度會隨著背風面的高度增加，而有下降的趨勢，但是其無因次化的濃度仍然高於迎風的濃度。

在街谷上風建築物之屋頂從左邊至右邊 ( 編號從 13 至 9 號 )，在街谷下風處建築物之屋頂從左邊至右邊 ( 編號從 22 至 26 號 )。可以發現，上風處建築物的屋頂無因次化濃度會高於下風處屋頂的濃度；其屋頂濃度最大值會發生在上風處屋頂 9 號的位置，其濃度較高其主要的原由：當背風面濃度都會高於迎風面又加上 9 號距離背風面較近，使得背風面屋頂的濃度會偏高。其中必須注意的地方，13 號 ( 上風處建築物的屋頂 ) 濃度會高於 10 至 12 號，其主要的原由：當上風處游

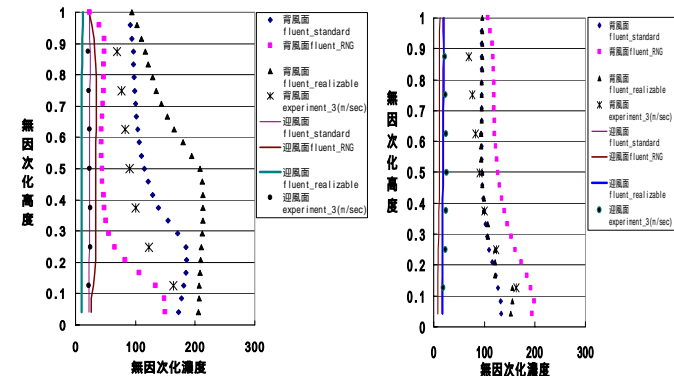
建築物鈍體表面產生分離的現象，使得上風處建築物表面會產生渦流，因而產生污染物濃度累積的現象發生。



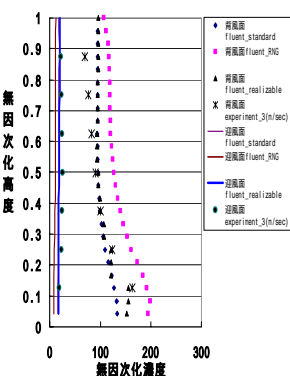
**Fig.4 The effect of different wind velocity on pollutant concentrations in a street canyon.**  
 $Q_s$ : total pollutant emission ( $Q_{source} = Q_{air} (135 \text{ l/h}) + Q_{propane} (4 \text{ l/h})$ ) ( $H$ : canyon height = 8cm、 $L$ : canyon length = 75cm、 $C$ : concentration、 $U$ : reference velocity)

(2)數值模擬分析：

二維 ( Fig.5 ) 三維 ( Fig.6 ) 在迎風面數值模擬(標準紊流模式)與實驗誤差分別為 5%、8%；至於二維 三維在背風面數值模擬(標準紊流模式)與實驗誤差分別為 23%、15%。其結果顯示，街谷在風洞試驗結果，若利用二維數值模擬分析，仍然可達一定之準確性。



**Fig.5 Comparisons between wind tunnel and numerical model concentration for two dimensional street canyon (B/H=1).**



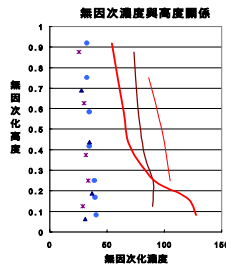
**Fig.6 Comparisons between wind tunnel and numerical model concentration for three dimensional street canyon (B/H=1).**

2 高度分別 4、8、12、16 公分的街谷

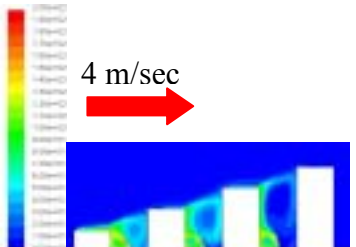
(1)高度從小至大

實驗數據分析：街谷下風處建築物之背風面從低至高的街谷，分別為 rake1、rake3、rake5；

街谷上風處建築物之迎風面從低至高的街谷，分別為 rake2、rake4、rake6，實驗數據如 Fig.7 所示：背風面濃度皆大於迎風面的濃度。至於 rake1 無因次化濃度的變化是相當不穩定的現象：隨著風速增加的情況之下，其無因次化濃度會因風速的增加而將污染給帶走，使得 rake1 濃度會因風速增加而減少。



**Fig.7 Concentrations in the canyon for different canyon height(reference velocity = 4m/sec).**



**Fig.8 Numerical model (FLUENT RNG) for dimensionless concentration contour.**

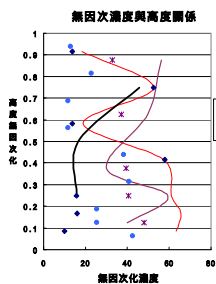
數值模擬結果所呈現等無因次化濃度圖，如 Fig.8。無因次化濃度值，主要集中在背風面處且背風處的無因次化濃度會高於迎風面，其結果與風洞試驗是相同的，其影響污染物的累積，主要受到黏滯性的因素所導致。

(2)高度從大至小

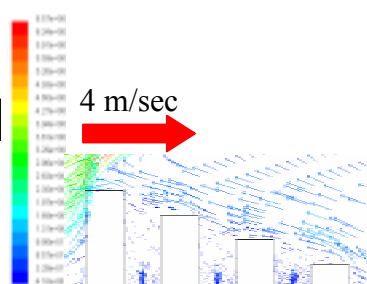
實驗數據如 Fig.9 所示:rake2 大於 rake1，rake4 大於 rake3，rake6 大於 rake5，其結果與街谷從低至高是完全相反的。

在前高後低街谷的模式中，上風處較高建築物屋頂轉角處產生分離流，又加街谷上風處建築物較高的情形下，使得街谷上風處屋頂轉角的風速會往攀升，而在下流較低的建築物上方會有反方向速度吹入，如 Fig.10 所示。

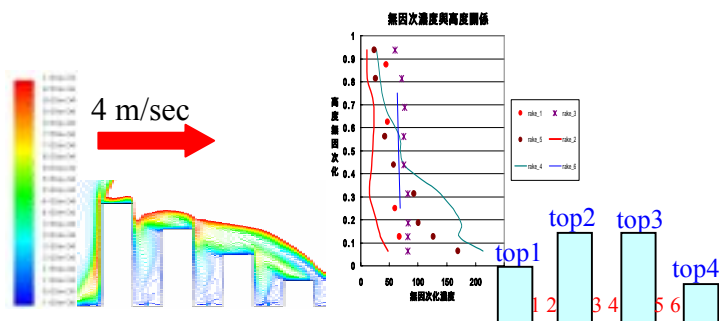
黏滯性所引發污染物的累積，如 Fig.11。其上方渦流主要靠近在背風面，使得迎風面下方會產生相反方向的渦流，下方渦流污染物不容易被風速所帶走，使得迎風面下方無因次化濃度值會偏高。



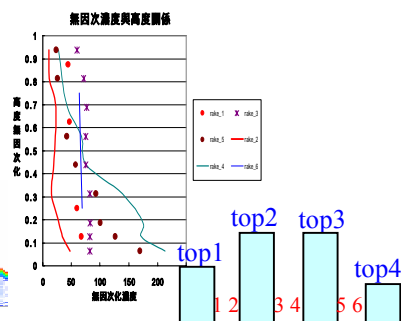
**Fig.9 Concentrations in the canyon for different canyon height(reference velocity = 2m/sec).**



**Fig.10 Numerical model (FLUENT RNG) for velocity vector field.**



**Fig.11 viscosity distribution of Numerical in the canyon for different model (FLUENT RNG canyon height(velocity = 4m/sec)).**



**Fig.12 Concentrations in the canyon for different canyon height(reference velocity = 4m/sec).**

### 3 高度分別 8、16、16、4 公分的街谷

Fig.12 之風洞試驗都可以看到無因次化高度約在 0.45 處會產生交錯點，其無因次化濃度的變化主要受到街谷內上方逆時針渦旋與下方順時針渦旋的影響。rake3 與 rake4 無因次化濃度變化與等高街谷（8 公分）會有明顯的差別。

### 四、結論

在本研究中，先針對單一等高二維街谷進行風洞試驗與 FLUENT6.1 數值模擬分析比較；緊接進行四排不同街谷的高度在風洞試驗與數值模擬分析，其結論如下：

- (1)二維等高街谷在風洞試驗，不同風速下其無因次化濃度的分佈與 1996 年 Meroney 所發表文獻[1]的結果是相互吻合的。
- (2)二維數值模擬預測發現：街谷內經修正、標準

紊流模式模擬結果優於可信任紊流模式。也證明 2002 年由 Chan 所提出文獻中[4]發現：街谷內以經修正紊流模式較佳，至於數值與實驗在屋頂濃度的比較並沒有列出相關的圖表。

(3)三維單一等高街谷之數值模擬：以標準紊流模式預測值與實驗結果是較接近的。

(4)從高至低的街谷與從低至高的街谷，因幾何形狀排列順序相反，使得風場方向的改變，最後無因次化濃度的累積隨之改變。

(5)經修正紊流模式之數值模擬分析與風洞試驗其準確性較高。數值模擬可以迅速地模擬出風場的變化與街谷污染濃度分佈；至於模擬出較可疑的街谷，仍然必須進行風洞試驗。

### 五、參考文獻

1. Meroney, R.N. , M. Pavageau, S. Rafailidis, M. Schatzman (1996) Study of line source characteristics for 2-D physical modelling of pollutant dispersion in street canyons. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 62 37–56.
2. Kastner-Klein, P., E.J. Plate (1999) Wind-tunnel study of concentration fields in street canyons. Atmospheric Environment 33 3937–3979.
3. Leitl, B.M., R.N. Meroney (1997) Car exhaust dispersion in a street canyon. Numerical critique of a wind tunnel experiment. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 67&68 293–304.
4. Chan, T.L., G. Dong, C.W. Leung, C.S. Cheung, W.T. Hung (2002) Validation of a two-dimensional pollutant dispersion model in an isolation street canyon. Atmosperic Environment 36 861-872.
5. Munchow, T. (1991) Untersuchung von Ausbreitungsvorgangen in einer turbulenten Windkanalgren-zschicht – Immissionsbelastung in strabenschluchten, Diplomarbeit report. Hamburg University.
6. Chang, C.H., R.N. Meroney (2001) Numerical and physical modeling of bluff body flow and dispersion in urban street canyons. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 89 1325-1334
7. Chang, C.H. , R.N. Meroney (2003) Concentration and flow distributions in urban street canyon: wind tunnel and computational data. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 91 1141-1154